

实验二 图像空间域图像增强

一、实验目的

- 1、了解图像增强的目的及意义，加深对图像增强的感性认识，巩固所学理论知识。
- 2、掌握直接灰度变换的图像增强方法。
- 3、掌握灰度直方图的概念及其计算方法，学会对图像直方图的分析。。
- 4、熟练掌握直方图均衡化和直方图规定化的计算过程。
- 5、熟练掌握空域滤波中常用的平滑和锐化滤波器。

二、实验原理

图像增强是指按特定的需要突出一幅图像中的某些信息，同时，消弱或去除某些不需要的信息的处理方法。其主要目的是处理后的图像对某些特定的应用比原来的图像更加有效。图像增强技术主要有灰度变换、直方图变换、图像平滑化处理、图像锐化处理等。

1、灰度变换

术语“空间域”指的是图像平面本身，在空间域内处理图像的方法是直接对图像的像素进行处理。空间域处理方法分为两种：灰度级变换、空间滤波。空间域技术直接对像素进行操作其表达式为

$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

其中 $f(x, y)$ 为输入图像， $g(x, y)$ 为输出图像， T 是对图像 f 进行处理的操作符，定义在点 (x, y) 的指定领域内。

定义点 (x, y) 的空间邻近区域的主要方法是，使用中心位于 (x, y) 的正方形或长方形区域，。此区域的中心从原点(如左上角)开始逐像素点移动，在移动的同时，该区域会包含不同的领域。 T 应用于每个位置 (x, y) ，以便在该位置得到输出图像 g 。在计算 (x, y) 处的 g 值时，只使用该领域的像素。

灰度变换 T 的最简单形式是使用邻域大小为 1×1 ，此时， (x, y) 处的 g 值仅由 f 在该点处的亮度决定， T 也变为一个亮度或灰度级变化函数。当处理单设(灰度)图像时，这两个术语可以互换。由于亮度变换函数仅取决于亮度的值，而与 (x, y) 无关，所以亮度函数通常可写做如下所示的简单形式：

$$s = T(r)$$

其中， r 表示图像 f 中相应点 (x, y) 的亮度， s 表示图像 g 中相应点 (x, y) 的亮度。

灰度变换是图像增强的一种重要手段，它常用于改变图像的灰度范围及分

布，是图像数字化及图像显示的重要工具。

(1) 图像反转

灰度级范围为 $[0, L-1]$ 的图像反转可由下式获得

$$s = L - 1 - r$$

(2) 对数运算:

有时原图的动态范围太大，超出某些显示设备的允许动态范围，如直接使用原图，则一部分细节可能丢失。解决的方法是对原图进行灰度压缩，如对数变换：

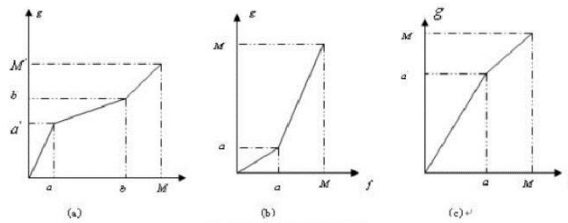
$$s = c \log(1 + r), \quad c \text{ 为常数}, \quad r \geq 0$$

(3) 幂次变换:

$$s = cr^\gamma, \quad c \geq 0, \gamma \geq 0$$

(4) 对比拉伸:

在实际应用中, 为了突出图像中感兴趣的研究对象, 常常要求局部扩展与拉伸某一范围的灰度值, 或对不同范围的灰度值进行不同的拉伸处理, 即分段线性拉伸:



其对应的数学表达式为:

$$g(x, y) = \begin{cases} \frac{a'}{a} \cdot f(x, y), & 0 \leq f(x, y) < a \\ \frac{b' - a'}{b - a} \cdot (f(x, y) - a) + a', & a \leq f(x, y) < b \\ \frac{M' - a'}{M - a} \cdot (f(x, y) - b) + b', & b \leq f(x, y) < M \end{cases}$$

(5) 对比度调整

如果原图像 $f(x, y)$ 的灰度范围是 $[m, M]$ ，我们希望对图像的灰度范围进行线性调整，调整后的图像 $g(x, y)$ 的灰度范围是 $[n, N]$ ，那么下述变换：

$$g(x, y) = \frac{N - n}{M - m} [f(x, y) - m] + n$$

就可以实现这一要求。

MATLAB 图像处理工具箱中提供的 `imadjust` 函数，可以实现上述的线性变换对比度调整。`imadjust` 函数的语法格式为：

$$J = \text{imadjust}(I, [\text{low_in high_in}], [\text{low_out high_out}])$$

$J = \text{imadjust}(I, [\text{low_in high_in}], [\text{low_out high_out}])$ 返回原图像 I 经过直方图调整后的新图像 J ， $[\text{low_in high_in}]$ 为原图像中要变换的灰度范围， $[\text{low_out high_out}]$ 指定了变换后的灰度范围，灰度范围可以用 $[\]$ 空矩阵表

示默认范围，默认值为[0, 1]。

2、直方图变换

直方图是多种空间域处理技术的基础。直方图操作能有效地用于图像增强。除了提供有用的图像统计资料外，直方图固有的信息在其他图像处理应用中也是非常有用的，如图像压缩与分割。直方图在软件中易于计算，也适用于商用硬件设备，因此，它们成为了实时图像处理的一个流行工具。

直方图是图像的最基本的统计特征，它反映的是图像的灰度值的分布情况。直方图均衡化的目的是使图像在整个灰度值动态变化范围内的分布均匀化，改善图像的亮度分布状态，增强图像的视觉效果。灰度直方图是图像预处理中涉及最广泛的基本概念之一。

图像的直方图事实上就是图像的亮度分布的概率密度函数，是一幅图像的所有象素集合的最基本的统计规律。直方图反映了图像的明暗分布规律，可以通过图像变换进行直方图调整，获得较好的视觉效果。

灰度直方图的横坐标是灰度级，纵坐标是该灰度级频率，它是图像最基本的统计特征。依据定义，在离散形式下，用 r_k 代表离散灰度级，用 $p_r(r_k)$ 代表 $p_r(r)$ ，且有下式成立：

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad 0 \leq r_k \leq 1 \quad k = 0, 1, 2, \dots, l-1$$

式中， n_k 为图像中出现 r_k 级灰度的像素数， n 是图像像素总数，而 n_k/n 即为频数。

直方图均衡化是通过灰度变换将一幅图像转换为另一幅具有均衡直方图，即在每个灰度级上都具有相同的象素点数的过程。直方图均衡化处理是以累积分布函数变换法为基础的直方图修正法。假定变换函数为

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(\omega) d\omega$$

当灰度级是离散值时，可用频数近似代替概率值，即

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad 0 \leq r_k \leq 1 \quad k = 0, 1, \dots, l-1$$

式中， l 是灰度级的总数目， $p_r(r_k)$ 是取第 k 级灰度值的概率， n_k 是图像中出现第 k 级灰度的次数， n 是图像中像素总数。

所以积分可以表示为下列累计分布函数

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad 0 \leq r_j \leq 1 \quad k = 0, 1, \dots, l-1$$

MATLAB 图像处理工具箱中提供的 `histeq` 函数，可以实现直方图的均衡化。对于灰度图像，`histeq` 函数的基本调用格式为 `J=histeq(I, n)`。

该函数返回原图像 I 经过直方图均衡化处理后的新图像 J 。 n 为指定的均衡

化后的灰度级数，缺省值为 64。

2、空间域滤波

空域滤波是在图像空间中借助模板对图像进行领域操作，处理图像每一个像素的取值都是根据模板对输入像素相应领域内的像素值进行计算得到的。空域滤波基本上是让图像在频域空间内某个范围的分量受到抑制，同时保证其他分量不变，从而改变输出图像的频率分布，达到增强图像的目的。

空域滤波一般分为**线性滤波**和**非线性滤波**两类。各种空域滤波根据功能主要分为**平滑滤波**和**锐化滤波**。图像平滑可用低通滤波器来实现，平滑的目的可分为两类：一类是模糊，目的是在提取较大的目标前去除太小的细节或将目标内的小间断连接起来；另一类是消除噪声。图像锐化可用高通滤波器来实现，锐化的目的是为了增强被模糊的细节。

结合这两种分类方法，可将空间滤波增强分为四类：

线性平滑滤波器（低通）

非线性平滑滤波器（低通）

线性锐化滤波器（高通）

非线性锐化滤波器（高通）。

空间滤波器都是基于模板卷积，其主要工作步骤是：

- (1) 将模板在图像中移动，并将模板中心与图像中某个像素位置重合；
- (2) 将模板上的系数与模板下对应的像素相乘；
- (3) 将所有乘积相加；
- (4) 将和（模板的输出响应）赋给图像中对应模板中心位置的像素。

(1) 平滑滤波

①线性平滑滤波器（均值滤波）

线性低通平滑滤波器的所有系数都是正数，对 3×3 的模板来说，最简均值滤波器的是取所有系数为 1，为了保持输出图像仍然在原图像的灰度值范围内，模板与像素邻域的乘积都要除以 9。

$$M_2 = \begin{pmatrix} \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \end{pmatrix} = \frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

模版沿水平和垂直两个方向逐点移动，相当于用这样一个模块与图像进行卷

积运算，从而平滑了整幅图像。模版内各系数和为 1，用这样的模版处理常数图像时，图像没有变化；对一般图像处理时，整幅图像灰度的平均值可不变。

MATLAB 提供了 `fspecial` 函数生成滤波时所用的模板，并提供 `filter2` 函数用指定的滤波器模板对图像进行运算。

```
h=fspecial(type);
h=fspecial(type,parameters);
```

其中参数 `type` 指定滤波器的种类，`parameters` 是与滤波器种类有关的具体参数。

type	parameters	说 明
average	hsize	均值滤波，如果邻域为方阵，则 <code>hsize</code> 为标量，否则由两元素向量 <code>hsize</code> 指定邻域的行数和列数。
disk	radius	有 $(radius*2+1)$ 个边的圆形均值滤波器
gaussian	hsize, sigma	标准偏差为 <code>sigma</code> ，大小为 <code>hsize</code> 的高斯低通滤波器
laplacian	alpha	系数由 <code>alpha</code> (0.0~1.0) 决定的二维拉普拉斯滤波
log	hsize, sigma	标准偏差为 <code>sigma</code> ，大小为 <code>hsize</code> 的高斯滤波旋转对称拉氏算子
motion	len, theta	按角度 <code>theta</code> 移动 <code>len</code> 个像素的运动滤波器
prewitt	无	近似计算垂直梯度的水平边缘强调算子
sobel	无	近似计算垂直梯度光滑效应的水平边缘强调算子
unsharp	alpha	根据 <code>alpha</code> 决定的拉氏算子创建的掩模滤波器

表 2.1 MATLAB 中预定义的滤波器种类

MATLAB 提供了一个函数 `imnoise` 来给图像增添噪声，其语法格式为：

```
J=imnoise(I,type);
J=imnoise(I,type,parameters);
```

参数 `type` 指定噪声的种类，`parameters` 是与噪声种类有关的具体参数。

种类	参数	说 明
gaussian	m, v	均值为 <code>m</code> ，方差为 <code>v</code> 的高斯噪声
localvar	v	均值为 0，方差为 <code>v</code> 的高斯白噪声
passion	无	泊松噪声
salt pepper	无	椒盐噪声
speckle	v	均值为 0，方差为 <code>v</code> 的均匀分布随机噪声

表 2.2 噪声种类及参数说明

请同学们通过MATLAB的help命令进一步查阅fspecial、filter2及imnoise的用法。

②非线性平滑滤波器（中值滤波）

中值滤波器是一种常用的非线性平滑滤波器，其滤波原理与均值滤波器方法类似，但不是计算加权求和，而是把邻域中的图像的像素按灰度级进行排序，然后选择该组的中间值作为输出像素值。

MATLAB 提供了 medfilt2 函数来实现中值滤波，其语法格式为：

```
B=medfilt2(A, [m n]);
```

```
B=medfilt2(A);
```

其中，A 是原图象，B 是中值滤波后输出的图像。[m n]指定滤波模板的大小，默认模板为 3×3。

(2) 锐化滤波器

图像平滑往往使图像中的边界、轮廓变得模糊，为了减少这类不利效果的影响，需要利用图像锐化技术，使图像的边缘变得清晰。

①线性锐化滤波器

线性高通滤波器是中心系数都是正的，而周围的系数都是负的，所有的系数之和为 0。对 3×3 的模板来说，典型的系数取值为：

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1; \\ -1 & 8 & -1; \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

事实上这是拉普拉斯算子。语句 h=-fspecial('laplacian',0.5)得到的拉普拉斯算子为：

$$\begin{bmatrix} h = -0.3333 & -0.3333 & -0.3333 \\ -0.3333 & 2.6667 & -0.3333 \\ -0.3333 & -0.3333 & -0.3333 \end{bmatrix}$$

②非线性锐化滤波

邻域平均可以模糊图像，因为平均对应积分，所以利用微分可以锐化图像。图像处理中最常用的微分方法是利用梯度。常用的空域非线性锐化滤波微分算子有 sobel 算子、prewitt 算子、log 算子等。

三、实验内容与要求

要求使用 MATLAB 来完成以下实验。

1、灰度变换

将文件夹中的任一图像文件读出，观察图像数据，请自己编程和调用 Matlab 函数用**常用灰度变换函数**对输入图像进行灰度变换，比较相应的处理效果，感受图像灰度变换处理在图像增强的作用。

2、直方图变换

将图像文件读出，用函数 `rgb2gray()` 将彩色图像转化为灰度图像，记为变量 B。请自己编程和调用函数完成如下实验。

- 1) 显示 B 的图像及灰度直方图，可以发现其灰度值集中在一段区域，用 `imadjust` 函数将它的灰度值调整到 $[0, 1]$ 之间，并观察调整后的图像与原图像的差别，调整后的灰度直方图与原灰度直方图的区别。
- 2) 对 B 进行直方图均衡化处理，试比较均衡化后图像有何变化，均衡化后的直方图有何特点。
- 3) 对 B 进行如图所示的分段线形变换处理，试比较与直方图均衡化处理的异同。

3、平滑空域滤波

(1) 读出一幅灰度图像，给这幅图像分别加入加均值为 0，方差分别为 0.01、0.05 的高斯噪声，以及概率分别为 0.01、0.05 的椒盐噪声，并与原图显示在同一图像窗口中(利用 `imnoise` 命令在图像上加入噪声)。

(2) 对加入噪声的图像分别用平均滤波器以及中值滤波器做处理，观察不同噪声水平下，上述滤波器处理的结果。

(3) 分别采用 3×3 、 5×5 、 9×9 的模板，对加入某一固定噪声水平噪声的图像进行处理，观察上述滤波器处理的结果。

(4) 如果使用 MATLAB，使用函数 `imfilter` 时，分别采用不同的填充方法(如零填充、'replicate'、'symmetric'、'circular')进行低通滤波，显示处理后的图像。

(5) 运用 for 循环，将加有椒盐噪声的图像进行 10 次、20 次均值滤波，查看其特点，显示均值处理后的图像(提示:利用 `fspecial` 函数的 'average' 类型生成均值滤波器)。

(6) 对加入椒盐噪声的图像分别采用 3×3 和 5×5 的模板，分别用平均滤波

器以及中值滤波器做处理，观察不同噪声水平下，上述滤波器处理的结果。

(7) 自己设计平滑空间滤波器，并将其对噪声图像进行处理，显示处理后的图像。

4、锐化空域滤波

(1) 读出一幅灰度图像，采用 3×3 的拉普拉斯算子 $w = \begin{bmatrix} 1, & 1, & 1; \\ 1 & -8 & 1; \\ 1, & 1, & 1 \end{bmatrix}$ 对其进行滤波。

(2) 编写函数 $w = \text{genlaplacian}(n)$ ，自动产生任一奇数尺寸 n 的拉普拉斯算子，如 5×5 的拉普拉斯算子。

$$w = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -24 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(3) 分别采用 5×5 ， 9×9 ， 15×15 和 25×25 大小的拉普拉斯算子对图像进行锐化滤波，并利用式 $g(x,y) = f(x,y) - \nabla^2 f(x,y)$ 完成图像的锐化增强，观察其有何不同，要求在同一窗口中显示。

(4) 采用不同的梯度算子 (roberts\Sobel\Prewitt 算子) 对图像进行锐化滤波，并比较其效果。

(5) 自己设计锐化空间滤波器，并将其对噪声图像进行处理，显示处理后的图像。

四、思考题

请在实验报告最后进行简答：

(1) 直方图是什么概念？它反映了图像的什么信息？直方图均衡化是什么意思？它的主要用途是什么？

(2) 结合实验内容，定性评价平均滤波器/中值滤波器对高斯噪声和椒盐噪声的去噪效果？

(3) 结合实验内容，定性评价滤波窗口对去噪效果的影响？

五、实验报告要求

请同学们完成上述实验：描述实验的基本步骤，用数据和图片给出各个步骤中取得的实验结果和源代码，并进行必要的讨论，必须包括原始图像及其计算/处理后的图像以及相应的解释。